



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**POTENCIAL DE USO DO SILÍCIO NA RESISTÊNCIA A SALINIDADE EM
ALFACE HIDROPÔNICO CULTIVADO EM AMBIENTE SEMIÁRIDO.**

LUANA DE AZEVEDO DANTAS

CAMPINA GRANDE – PB

2023

LUANA DE AZEVEDO DANTAS

**POTENCIAL DE USO DO SILÍCIO NA RESISTÊNCIA A SALINIDADE EM
ALFACE HIDROPÔNICO CULTIVADO EM AMBIENTE SEMIÁRIDO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba / Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Área de Concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar.

Orientador: Prof. Dr. Josemir Moura Maia

CAMPINA GRANDE – PB

2023

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

D192p Dantas, Luana de Azevedo.
Potencial de uso do silício na resistência a salinidade em alface hidropônico cultivado em ambiente semiárido [manuscrito] / Luana de Azevedo Dantas. - 2023.
42 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2023.

"Orientação : Prof. Dr. Josemir Moura Maia, Departamento de Agrárias e Exatas - CCHA. "

1. Hidroponia. 2. Semiárido. 3. Agricultura familiar. I. Título

21. ed. CDD 635

LUANA DE AZEVEDO DANTAS

POTENCIAL DE USO DO SILÍCIO NA RESISTÊNCIA A SALINIDADE EM ALFACE HIDROPÔNICO CULTIVADO EM AMBIENTE SEMIÁRIDO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba /Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.


Área de Concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar.

Aprovada em: 16/10/2023

Banca examinadora:



Prof. Dr. Josemir Moura Maia – UEPB (Orientador)



Prof. Dr. José Félix de Brito Neto- UEPB (Avaliador)



Prof. Dr. Sérgio Luiz Ferreira da Silva- UAST/UFRPE (Avaliador)

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar que nos deu a vida e a sabedoria para seguirmos adiante, sem ele nada seria possível;

A minha mãe Edilza Maria de Azevedo Dantas e ao meu pai José Roberto Dantas pelo afeto incentivo, atenção e o carinho que é dado em todos os momentos da minha vida;

A Luciano Lúcio por nunca ter desacreditado de mim e sempre ter me apoiado quando eu mais precisei, foi de suma importância toda sua dedicação nesse momento tão importante em minha vida, te dedico.

A minhas tias, em especial minha madrinha Lucimar que sempre me incentivou e ajudou em todos os sentidos, o meu obrigada. A minha irmã de outra mãe Alice Azevedo, Jayne Karla e Andreza Lúcio que sempre estão ao meu lado em todos os momentos me apoiando, nunca me deixou baixar a cabeça em nenhum momento, obrigada por tudo vocês fazem parte de toda minha jornada e sucesso.

A Universidade Estadual da Paraíba-UEPB e a FAPESQ, por ajudar na minha formação como pessoa e cidadão que hoje sou, junto a FAPESQ por me conceder a bolsa onde foi de muita importância para a minha permanência no programa e aos docentes desta instituição em especial, que de forma competente, me estimularam para várias questões e aprendizado, meu muito obrigado.

Ao meu orientador Josemir Moura Maia, quero expressar minha profunda gratidão pelo apoio e orientação que você me proporcionou ao longo deste processo por toda paciência que teve comigo e competência no auxílio para elaboração deste trabalho.

Ao professor Evandro Franklin de Mesquita que se fez bastante presente em minha pesquisa, onde doou todo o silício utilizado na pesquisa e me ajudou na parte estatística, se fazendo sempre presente com suas orientações e orações, um ser humano incrível que tive o privilégio de conhecer.

Ao LAPROV ao qual eu fiz parte durante essa temporada que passei em Catolé do Rocha e consegui construir acima de tudo uma família, onde me acolheram muito bem e sempre me ajudaram a seguir firme na minha pesquisa.

Aos anjos que Deus colocou em minha vida, minhas meninas que foram bolsistas do nosso projeto, Karina e Rita. Dois seres humanos que não há palavras que expressem o meu sentimento pelas duas. Deus foi muito generoso em colocar vocês em minha vida, dedico esse projeto as duas e não tenho dúvidas da linda trajetória que as esperam. Além delas, ainda tive o privilégio de conhecer mais pessoas e contar com a ajuda, são essas pessoas: Anselmo, Faruque, Luan, Gabriel, Diany, Cecília, Dirce, Beatriz, Joelma, Mikael, Mikaelle, John, Clara, Amanda, Ivanice, Jose Paulo.

Aos técnicos do laboratório Fernando e Potí por sempre me socorre nas horas que eu mais precisei, por todos os ensinamentos que me foi repassado, deixo aqui expressa toda minha gratidão.

Aos professores Paulo e Félix por terem aceitado o nosso convite para compor a banca de defesa do referido trabalho, será de suma importância todas as contribuições para o enriquecimento desse trabalho.

Aos Servidores e terceirizados do Campus IV por sempre me tratarem bem e a todos que direta ou indiretamente me ajudaram a tornar esse sonho possível.

RESUMO

O Semiárido brasileiro é caracterizado por apresentar regime de chuvas irregular e altas taxas de evapotranspiração. Suas características edafoclimáticas torna a agricultura familiar da região deficitária o que pode levar a episódios de estresses abióticos nas culturas, tornando-se necessário medidas que possam aferir-lhe uma maior produtividade e sustentabilidade. A hidroponia é um sistema de cultivo sem solo e que pode ser utilizado em pequenas propriedades, em espaços reduzidos, em solos pobres, configurando-se então como uma excelente alternativa para o cultivo agrícola no Semiárido. Adicionalmente, o manejo em cultivo hidropônico DFT (Deep film technique) ou Floating possui características que atendem as condições edafoclimáticas da região do semiárido nordestino e podem aumentar a performance nessa região. A alface é considerada a principal cultura produzida na hidroponia. No entanto, o manejo da solução nutritiva utilizada, a qual é responsável pela disponibilidade dos macros e micronutrientes importantes no desenvolvimento da cultura, é de extrema importância para uma maior otimização da produção. O presente estudo realizou um experimento com o objetivo de avaliar o desempenho de plantas de alface sob condições de estresse salino, utilizando um aumento de silício na raiz por meio de uma solução nutritiva hidropônica, visando atenuar os efeitos dos estresses abióticos na alface cultivada em uma região semiárida. O delineamento experimental usado foi inteiramente casualizado (DIC), com esquema fatorial de 3x4, com 3 doses de silício (0; 0,4; 2,0 mol/L) e 4 doses de NaCl (1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 dS/m) para análise do efeito do silício sobre o estresse salino. Os tratamentos foram formulados a partir da solução nutritiva de Furlani (1999) com o incremento de Silício e o tratamento testemunha composto pela solução nutritiva de Furlani (1999) sem adaptações. No total foram formulados 12 tratamentos, com 6 repetições cada, totalizando 72 unidades experimentais. As variáveis morfológicas analisadas foram: Massa fresca da planta, número de folhas total e comercial por plantas, Massa fresca da parte aérea, diâmetro do caule, comprimento do caule, e circunferência da cabeça. As análises bioquímicas analisadas foram: Açúcares solúveis totais, açúcares redutores e não redutores, silício, pigmentos, danos de membranas. Para análise de trocas gasosas foi usado um analisador de gás infravermelho - IRGA (Infra-Red Gas Analyser, Lcpro). Os resultados obtidos das variáveis respostas foram submetidos às análises de variância pelo teste F com no mínimo 95% de confiança, para o efeito isolado dos níveis de silício na solução nutritiva utilizou-se o teste de comparação múltipla de Tukey ($p < 0,05$). Para realização das análises foram utilizadas o software estatístico R. O estudo encontrou resultados sob efeitos negativos do silício associado a elevadas doses de salinidade, onde de modo geral afetam o crescimento da planta, especialmente interferindo na atividade fotossintética, culminando na perda de eficiência metabólica de açúcares e pigmentos.

Palavras-chave: Silicato de potássio; DFT; Hidroponia; Estresse abiótico.

ABSTRACT

The Brazilian semi-arid region is characterized by irregular rainfall and high evapotranspiration rates. Its edaphoclimatic characteristics make family farming in the region deficient, which can lead to episodes of abiotic stress in crops, making it necessary to take measures that can provide greater productivity and sustainability. Hydroponics is a soilless cultivation system that can be used on small properties, in reduced spaces, on poor soils, making it an excellent alternative for agricultural cultivation in the Semiarid region. Additionally, management in hydroponic cultivation DFT (Deep film technique) or Floating has characteristics that meet the edaphoclimatic conditions of the northeastern semi-arid region and can increase performance in this region. Lettuce is considered the main crop produced using hydroponics. However, the management of the nutrient solution used, which is responsible for the availability of important macro and micronutrients in the development of the crop, is extremely important for greater production optimization. The present study carried out an experiment with the objective of evaluating the performance of lettuce plants under conditions of saline stress, using an increase in silicon in the root through a hydroponic nutrient solution, aiming to mitigate the effects of abiotic stresses on lettuce grown in a semi-arid region. The experimental design used was completely randomized (DIC), with a 3x4 factorial scheme, with 3 doses of silicon (0; 0.4; 2.0 mol/L) and 4 doses of NaCl (1.5; 2.5; 3.5 and 4.5 dS/m) to analyze the effect of silicon on salt stress. The treatments were formulated based on the nutrient solution of Furlani (1999) with an increase in silicon and the control treatment was composed of the nutrient solution of Furlani (1999) without adaptations. In total, 12 treatments were formulated, with 6 replications each, totaling 72 experimental units. The morphological variables analyzed were: Fresh mass of the plant, total and commercial number of leaves per plant, Fresh mass of the aerial part, stem diameter, stem length, and head circumference. The biochemical analyzes analyzed were: Total soluble sugars, reducing and non-reducing sugars, silicon, pigments, membrane damage. An infrared gas analyzer - IRGA (Infra-Red Gas Analyzer, Lcpro) was used to analyze gas exchange. The results obtained from the response variables were subjected to analysis of variance using the F test with at least 95% confidence. For the isolated effect of silicon levels in the nutrient solution, the Tukey multiple comparison test was used ($p < 0.05$). The statistical software R was used to carry out the analyses. The study found results under the negative effects of silicon associated with high doses of salinity, which generally affect plant growth, especially interfering with photosynthetic activity, culminating in the loss of metabolic efficiency of sugars and pigments.

Keywords: Potassium silicate; DFT; hydroponics; Abiotic stress.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	19
FIGURA 2. CROQUI DO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.	20
FIGURA 3. MESA COM SISTEMA DFT MONTADO.	21
FIGURA 4. SISTEMA DFT (DEEP FILM TECHNIQUE) OU FLOATING.	21
FIGURA 5. QUANTIFICAÇÃO DE Na ⁺ , Ca ⁺² E K ⁺	24
FIGURA 6. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS ALFACES CULTIVADAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO. (A) MASSA FRESCA DA PLANTA (G POR PLANTA); (B) NÚMERO TOTAL DE FOLHAS (PLANTA ⁻¹); (C) NÚMERO DE FOLHA COMERCIAL (PLANTA ⁻¹); (D) MASSA VERDE DA PARTE AÉREA (G POR PLANTAS); (E) DIÂMETRO DO CAULE (MM); (F) COMPRIMENTO DO CAULE (CM); (G) CIRCUNFERÊNCIA DA CABEÇA (CM), SUBMETIDAS A QUATRO NÍVEIS DE CÉS.	28
FIGURA 7. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS ALFACES CULTIVADAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO. (A) MASSA FRESCA DA PLANTA (G POR PLANTA); (B) NÚMERO DE FOLHA COMERCIAL (G POR PLANTA); (C) MASSA VERDE DA PARTE AÉREA (G POR PLANTAS); (D) DIÂMETRO DO CAULE (MM); (E) DIÂMETRO DA CABEÇA, SUBMETIDAS A TRÊS DOSES DE SILÍCIO. MÉDIA SEGUIDAS DE MESMA LETRA NÃO DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE TUKEY (P < 0.05).	29
FIGURA 8. (A) TEORES FOLIARES DE Ca EM ALFACES CULTIVADAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO; (B) TEORES FOLIARES DE K EM ALFACES CULTIVADAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO; (C) TEORES FOLIARES DE Na EM ALFACES CULTIVADAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO; (D) TEORES FOLIARES DE Si EM ALFACES CULTIVADAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO.	31
FIGURA 9. DANOS DA MEMBRANA EM ALFACE CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO EM DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE.	32
FIGURA 10. (A) CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (GS); (B) TRANSPIRAÇÃO (E) E (C) TAXA DE ASSIMILAÇÃO DE CO ₂ (A) EM ALFACE CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM SOLUÇÃO NUTRITIVA DE DIFERENTES SALINIDADES E DE SILÍCIO, AOS 30 DIAS APÓS O TRANSPLANTIO (DAT).	33
FIGURA 11. (A) E (B) CONCENTRAÇÃO INTERCELULAR DE CO ₂ (Ci) EM ALFACE CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM SOLUÇÃO NUTRITIVA DE DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO E SALINIDADES, AOS 30 DIAS APÓS O TRANSPLANTIO (DAT). (C) EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA (EUA) EM ALFACE CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM SOLUÇÃO NUTRITIVA DE DIFERENTES NÍVEIS DE SILÍCIO, AOS 30 DIAS APÓS O TRANSPLANTIO (DAT). MÉDIA SEGUIDAS DE MESMA LETRA NÃO DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE TUKEY (P < 0.05).	34
FIGURA 12. (A) AÇÚCAR NÃO REDUTOR (ANR) EM ALFACE CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO EM DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE E SILÍCIO; (B) AÇÚCAR TOTAL (AT) EM ALFACE CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM SOLUÇÃO NUTRITIVA COM NÍVEIS DE SALINIDADE E (C) AÇÚCAR REDUTOR (AR), EM ALFACE CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM SOLUÇÃO NUTRITIVA COM NÍVEIS DE SALINIDADE E DE SILÍCIO.	35
FIGURA 13. (A) CLOROFILA TOTAL (CT); (B) CLOROFILA A (CA); (C) CLOROFILA B (CB); (D) ANTOCIANINAS (A) E (E) CAROTENOIDES (C) EM ALFACE CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM SOLUÇÃO NUTRITIVA COM NÍVEIS DE SALINIDADE E DE SILÍCIO.	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO SILÍCIO.	20
TABELA 2. FONTES E DOSES DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DE FURLANI.	22
TABELA 3. CONDUTIVIDADES ELÉTRICAS (CE) DAS ÁGUAS SALINAS SIMULADAS E DA SOLUÇÃO CONTROLE.	22

Lista De Abreviaturas

ANR- AÇÚCAR NÃO REDUTOR
AR- AÇÚCAR REDUTOR
AST- AÇÚCAR SOLÚVEL TOTAL
CAT- CATALASE
CC- CIRCUNFERÊNCIA DO CAULE
CCAB- CIRCUNFERÊNCIA DA CABEÇA
CE- CONDUTIVIDADE ELÉTRICA
DC- DIÂMETRO DO CAULE
DFT- DEEP FILM TECHNIQUE (SISTEMA HIDROPÔNICO)
DIC- DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO
DM- DANOS DE MEMBRANA
HCL- ÁCIDO CLORÍDICO
DCAB- DIÂMETRO DA CABEÇA
LAPROV- LABORATÓRIO DE TECNOLOGIAS DA PRODUÇÃO VEGETAL
MFP- MASSA FRESCA DA PLANTA
NACL- CLORETO DE SÓDIO
NFC- NÚMERO DE FOLHAS COMERCIAL
NFT- NÚMERO DE FOLHAS TOTAL
PB- PARAÍBA
SOD- SUPERÓXIDO DISMUTASE
UEPB- UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Geral.....	13
2.2 Específicos	13
3 REFERÊNCIAL TEÓRICO	14
3.1 Cultura da alface	14
3.2 Cultivo hidropônico no semiárido e seus principais desafios	15
3.3 Estudos de cultivo hidropônico de alface com água salobra.....	15
3.4 O silício como mitigador do estresse salino.....	16
3.5 Respostas dos vegetais ao silício.....	16
3.6 Adição de silício na solução nutritiva	17
4 MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1 Caracterização da área de estudo	19
4.2 Descrição do experimento.....	19
4.3 Tratamentos e delineamento experimental.....	19
4.4 Produções de mudas	20
4.5 Montagem do sistema DFT (<i>Deep film technique</i>) ou <i>Floating</i>	21
4.6 Formulações das soluções nutritivas para o cultivo da alface	22
4.7 Preparo das soluções nutritivas	22
4.7.1 Preparo das águas salinas simuladas.....	22
4.7.2 Sistema de oxigenação	22
4.8 Controle da CE e pH	23
4.9 Variáveis relacionadas ao crescimento	23
4.10 Análises nutricionais	23
4.10.1 Concentração Na ⁺ , Ca ²⁺ e K ⁺	23
4.10.2 Silício	24
4.11 Análises bioquímicas.....	24
4.11.1 Danos de membrana (DM%)	24
4.11.2 Açúcares solúveis totais (AST).....	25
4.11.3 Açúcares redutores (AR) e não redutores (ANR)	25
4.11.4 Determinação dos teores de Clorofilas a, b e totais, Carotenóides Totais e Antocianinas	25
4.11.5 Trocas gasosas	26

4.12 Análises estatísticas	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 Análises relacionadas ao crescimento	27
5.2 Análises nutricional	30
5.3 Análises bioquímicas	31
6 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) se destaca em âmbito nacional e mundial por ser a folhosa mais consumida, cuja condição é favorecida pela fácil disponibilidade que a população tem em comprar e consumir, além de possuir outras características, como sabor, qualidade nutritiva e, principalmente, baixo custo, favorecendo seu consumo, com sua produção concentrando-se principalmente próximo aos grandes centros, denominados cinturões verdes (ABREU et al., 2010). É uma das hortaliças mais cultivadas em todo o país. A sua larga adaptação às condições climáticas diversas, a possibilidade de cultivos sucessivos no mesmo ano, o baixo custo de produção, a pouca suscetibilidade a pragas e doenças e a comercialização segura, fazem com que seja a hortaliça preferida pelos pequenos produtores, o que lhe confere grande importância econômica e social, sendo significativo fator de agregação do homem do campo (MEDEIROS et al., 2007).

No Nordeste do Brasil a produção hidropônica vem ganhando destaque principalmente nas regiões semiáridas, devido a sua maior eficiência do uso da água com relação ao cultivo convencional, e a oportunidade do aproveitamento de águas salobras oriundas de poços (SANTOS et al., 2010a). Dessa forma é de suma importância avaliar técnicas de manejo e a tolerância dessas hortaliças cultivadas em hidroponia com o uso de águas salobras, visando gerar informações práticas para os agricultores do semiárido brasileiro.

No Semiárido brasileiro a produção de alface se torna limitada devido sua tolerância a condições ambientais como altas temperaturas, por exemplo, o que ocasiona pendoamento, perda de folhas, produção de látex tornando a alface amarga e assim prejudicando a comercialização (SOUZA et al., 2018). Outro fator que se deve levar em consideração na produção hidropônica dessa hortaliça na região é a sua sensibilidade à salinidade. Porém, segundo Santos et al. (2010) essa sensibilidade se apresenta de forma mais acentuada no cultivo em solo, onde a absorção de sais é proveniente da água de irrigação muitas vezes de má qualidade, conseguindo em sistema hidropônico reagir bem a níveis de salinidade por ser a absorção de água condicionada apenas ao potencial osmótico.

O principal problema da salinidade é a redução do potencial osmótico da solução do solo, diminuindo a disponibilidade de água para as plantas; além do efeito da toxicidade de certos íons às plantas, conforme descreve Bernardo et al. (2005). Como alternativa ao enfrentamento dessas problemáticas têm-se o silício (Si), elemento benéfico estudado e

aplicado à agricultura como mitigador dos efeitos deletérios diante condições adversas aos vegetais, como a salinidade por exemplo, e atuando também quanto o acúmulo de NO_3^- nos vegetais (CÂNDIDO et al, 2020). Na hidroponia, vem sendo aplicado como um suplemento às culturas, resultando em maior produção e eficiência ao enfrentamento de estresses abióticos (LEMOS NETO et al., 2018). Há evidências de que o silício seja um ótimo estabilizador de pH, o que pode ser explicado pelo fato deste ser proveniente de rocha de caráter básico (MIRANDA et al., 2018). As altas temperaturas, assim como demais estresses abióticos podem ser amenizados também pelo silício (EPSTEIN, 1999 apud SOUZA, 2018). Tem sido observado ainda, que o silício diminui o efeito deletério provocado pelo excesso de sais, aumentando o conteúdo de água das plantas e diluindo os sais acumulados no tecido e assim, também seus efeitos tóxicos, pois ocorre o aumento na atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) (ABRANTES, 2014). O silício pode ter então um efeito atenuador dos efeitos das condições ambientais do Semiárido para o cultivo de alface pela hidroponia.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliou-se as variações nos teores de silício como mitigadores de estresse salino nas soluções nutritivas com água salobra em plantas de alface sobre cultivo hidropônico, através de indicadores morfofisiológicos, bioquímicos e nutricionais.

2.2 Específicos

- Avaliou-se o efeito da interação silício x salinidade em alface hidropônica;
- Verificou-se a ação da salinidade no crescimento, status hídrico, integridade das membranas, balanço iônico e ajustamento osmótico em plantas de alface com a adição de silício na solução nutritiva;
- Determinou-se quais solutos orgânicos e inorgânicos participam nos processos de ajustamento osmótico e regulação em plantas de alface sobre salinidade com adição de silício na solução nutritiva.
- Avaliou-se a atividade fotossintética e as tocas gasosas em plantas de alface sobre salinidade em cultivo hidropônico.

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 Cultura da alface

Pertencente à família Asteraceae, a alface é originária da Ásia e foi introduzida no Brasil pelos portugueses no século XVI. As espécies silvestres são encontradas em regiões de clima temperado da Europa e na Ásia Ocidental, sendo uma planta herbácea com raízes ramificadas e superficiais, sua coloração pode apresentar diversos tons de verde ou roxo e as flores amareladas fixam-se ao caule diminuto e esverdeado (FILGUEIRA, 2008).

A alface (*Lactuca sativa* L.) originou-se de espécies silvestres e foi mais adaptada ao inverno. No entanto, atualmente pode ser encontrada em regiões de clima temperado, sendo uma das hortaliças mais consumidas no Brasil, o que faz com que essa cultura tenha grande importância econômica no país. Em contrapartida, seu consumo é muito maior no verão, o que gera necessidades de novas tecnologias e formas de plantio aliado a práticas mais sustentáveis para que sua produção atenda a demanda (FILGUEIRA, 2008).

A alface é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil, aproximadamente 35 mil hectares, de maior aceitação pelos consumidores e mais importante na alimentação do brasileiro, o que assegura à cultura expressiva importância econômica (GRANJEIRO et al., 2006; BATISTA et al., 2012).

O cultivo da alface é realizado nos sistemas convencional, orgânico e, mais recentemente, hidropônico. Este último possibilita melhor controle ambiental, com menor incidência de pragas e doenças, facilidade nos tratamentos culturais, melhor programação e rendimento da produção (RIBEIRO, 2017).

Nas hortaliças, especialmente folhosas, o nitrogênio desempenha papel fundamental no crescimento e no rendimento dos produtos colhidos. Um adequado suprimento de nitrogênio está associado à alta atividade fotossintética e ao crescimento vegetativo vigoroso (CASTELLANE, 1994; FILGUEIRA, 2000). Em alface, doses elevadas de nitrogênio proporcionam maior massa e maiores acúmulos de macronutrientes nas folhas (PEREIRA et al., 1989; ALVARENGA et al., 2000; FERREIRA et al., 2000). Em sistema hidropônico, o nitrogênio é fornecido basicamente na forma de nitrato, uma vez que o amônio em altas concentrações na solução nutritiva é fitotóxico para a planta de alface, reduzindo o rendimento e a qualidade visual da cultura (BOON et al., 1990; FAQUIN et al., 1994; FAQUIN & FURTINI NETO, 1996; FURLANI, 1998). A capacidade de acúmulo de nitrato no vacúolo celular é de caráter genético, porém, grandemente influenciada por outros fatores, tais como: disponibilidade

do íon na solução nutritiva, intensidade luminosa, disponibilidade de molibdênio, temperatura, umidade relativa do ar, sistema de cultivo, época de cultivo e hora de colheita, sendo os dois primeiros os mais importantes (MAYNARD et al., 1976; FAQUIN & FURTINI NETO, 1996; ANDRIOLO, 1999).

3.2 Cultivo hidropônico no semiárido e seus principais desafios

A água é um constituinte imprescindível para a vida, e nas regiões semiáridas é um bem muito precioso, devido a sua escassez. Por esta razão o cultivo hidropônico é uma alternativa de grande importância nas regiões semiáridas, haja vista que esta técnica apresenta como uma das vantagens, utilizar menos água do que o cultivo convencional no solo. O termo hidroponia é aplicado a um conjunto técnica empregadas no cultivo de plantas, sem a utilização de solo, de forma que os nutrientes minerais são fornecidos através de uma solução nutritiva balanceada para as necessidades da planta que se deseja cultivar.

O cultivo hidropônico geralmente está associado a um sistema de cultivo em ambiente protegido, como uma casa de vegetação, por exemplo. Desta forma, a água é fornecida às plantas na forma de solução nutritiva, a qual é reutilizada por várias vezes, além de que o ambiente protegido contribui para diminuir a evaporação, e não há perda por lixiviação, não há perda de fertilizantes no cultivo hidropônico. Ao contrário, o cultivo no solo contribui com esse processo, além da indisponibilização dos nutrientes minerais pela fixação e precipitação deles.

3.3 Estudos de cultivo hidropônico de alface com água salobra

No Nordeste do Brasil a produção hidropônica vem ganhando destaque principalmente nas regiões semiáridas, devido a sua maior eficiência do uso da água com relação ao cultivo convencional, e a oportunidade do aproveitamento de águas salobras oriundas de poços (SANTOS et al., 2010a). Dessa forma é de suma importância avaliar técnicas de manejo e a tolerância dessas hortaliças cultivadas em hidroponia com o uso de águas salobras, visando gerar informações práticas para os agricultores do semiárido brasileiro.

No semiárido brasileiro existe grande disponibilidade de águas de concentrações salinas inviáveis para utilização na irrigação da maioria dos cultivos. Além do baixo nível de tolerância, a forma tradicional de cultivo potencializa o efeito da salinidade. O principal problema da salinidade é a redução do potencial osmótico da solução, diminuindo a disponibilidade de água para as plantas; além do efeito da toxicidade de certos íons às plantas, conforme descreve Bernardo et al. (2005).

Após testes iniciais sobre o uso de águas salobras na produção da cultura da alface realizados por Soares et al. (2007) e a resposta positiva desta cultura em determinados níveis de salinidade da água, pesquisadores do Nordeste Brasileiro vêm desempenhando papel importante no estudo desta hortaliça com águas de diferentes qualidades, impróprias para consumo humano e oriundas de poços artesanais.

Dentre os efeitos gerados a partir do uso de águas salobras no cultivo de alface pode-se destacar a redução da massa das plantas. Entretanto, resultado de pesquisa (Soares et al., 2015) têm mostrado que o uso alternado de água salina, com água de boa qualidade pode reduzir o efeito deletério, podendo assim ser uma opção de cultivo em regiões em que águas de boa qualidade são escassas.

3.4 O silício como mitigador do estresse salino

O silício tem se mostrado de grande eficiência na utilização em formulações de soluções nutritivas para o cultivo da alface hidropônica, pois este é capaz de reduzir os efeitos negativos dos estresses abióticos. Ainda que os efeitos benéficos do silício em relação a sua ação contra os estresses abióticos são divididos em dois grupos: físicos e fisiológicos. Os benefícios físicos relacionam-se ao acúmulo do silício nas paredes das células vegetais, formando uma barreira física à perda de água, melhorando a arquitetura das células. Em relação aos benefícios fisiológicos ocorre o aumento da atividade fotossintética, resistência ao ataque de fitopatógenos e pragas e a tolerância das plantas à seca, pois o silício induz uma série de reações metabólicas resultando na formação de compostos como a lignina (CANTUÁRIO et al., 2014).

Segundo Neves (2016) as plantas cultivadas em ambientes com silício se diferem das de ambiente com deficiência nesse nutriente principalmente quanto a composição química, resistência mecânica das células, características de superfície foliar, tolerância ao estresse abiótico e ao ataque de patógenos e pragas. No entanto, em seu estudo, o autor observou diminuição do rendimento e do crescimento de duas variedades de alface com o aumento da concentração do nutriente na solução nutritiva nas doses de 0,7 e 5,6 mmol L⁻¹, resultado este que segundo o autor pode ser explicado pela fonte de silício utilizada, pois dependendo da mesma, concentrações muito altas de silício podem causar desequilíbrio nutricional de outros elementos para as plantas.

3.5 Respostas dos vegetais ao silício

O Silício é um dos elementos de grande importância na integridade estrutural da célula. Ele é armazenado no retículo endoplasmático, nas paredes celulares e nos espaços

intercelulares como sílica amorfa hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot \text{NH}_2\text{O}$), serve ainda como alternativa à lignina no reforço das paredes celulares por formar complexos com polifenóis, além disso a acumulação do mesmo nos tecidos vegetais promove crescimento, fertilidade e resistência ao estresse quando disponível em quantidades adequadas. Embora seja listado como um dos macronutrientes essenciais pertencente ao grupo de nutrientes importantes na armazenagem de energia ou na integridade estrutural, o silício ainda não é considerado um elemento essencial para as plantas (TAIZ e ZAIGER, 2017).

Frente a estresses abióticos como o hídrico por exemplo, o silício forma cadeias mais pesadas de ácido polisílico diminuindo a flexibilidade das paredes dos estômatos, os quais tendem a permanecer fechados, reduzindo então a transpiração e a perda de água. Essa diminuição na perda de água da alface pelo efeito do silício diminui a possibilidade de ocorrer necrose nos tecidos e consequente queima das bordas das folhas da cultura (LEMOS NETO, 2019). Além de permitir um maior tempo de prateleira para a alface, pois o silício aumenta o conteúdo de hemicelulose e lignina e assim, a rigidez da célula (NEVES, 2016; GALATI et al., 2015).

Esse revestimento da parede celular das células do vegetal ainda se comporta como uma barreira à patógenos e doenças, o que pode favorecer a não utilização de agrotóxicos e fungicidas nas culturas e frente a isso promover a preservação do meio ambiente (SANTOS et al., 2012). Dessa forma, Luz et al. (2006) falam que o silício pode ser uma alternativa viável para produção hidropônica de alface. Corroborando os dados anteriormente citados, Resende et al. (2007) afirmam que o silício promove menor oxidação nas folhas externas conservando melhor a coloração verde da alface. Os autores ainda mencionam o efeito da redução da acumulação tóxica de Mn, Fe e Al e de outros metais pesados, e indicam a dose de 2 L ha^{-1} como a mais recomendada em termos de rendimento e qualidade pós-colheita.

3.6 Adição de silício na solução nutritiva

Tendo em vista o silício como um biofortificante e que segundo ASHFAQUE et al., (2017), o Si apresenta ação benéfica com a capacidade de melhorar o desempenho da planta a medida em que previne a sua degradação em situações de estresses abióticos, e essa ação está ligada diretamente a absorção e assimilação pelos vegetais, causando então seu acúmulo, o que por sua vez favorece a síntese de aminoácidos, proteínas, clorofilas e, por consequência, o aparato fotossintético.

Em um estudo feito por Santos (2021) avaliando os efeitos do Si sob o aumento na concentração de nutrientes da solução nutritiva no cultivo hidropônico da alface,

constatou-se que, não faz sentido aplicar silício na solução nutritiva pois, houve um aumento no sistema radicular interferindo na produtividade de folhas, sendo bom para a planta e não para o agricultor. Levando em consideração todas essas observações, o objetivo deste trabalho será avaliar o desempenho em plantas de alface com o incremento de silício na raiz adequando a uma solução nutritiva hidropônica salinizada, a fim de mitigar os efeitos dos estresses abióticos em alface cultivada em condições edafoclimáticas do Semiárido.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada em viveiro com dimensões 12mx30m no Setor Experimental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e no Laboratório de Tecnologias da Produção Vegetal (LAPROV) como mostra a (figura 1), localizado no município de Catolé do Rocha (PB). A cidade está situada a 6° 21'' de latitude S e 37° 48'' de longitude O, a uma altitude de 272 m (Figura 1). O clima da região caracteriza-se por ser semiárido quente, com duas estações distintas, uma chuvosa com precipitação irregular e outra sem precipitação. A precipitação média anual é de 870 mm, temperatura média de 27 °C KÖPPEN, 1900).

Figura 1. Mapa de localização da área experimental



Fonte: Google Earth (2021).

4.2 Descrição do experimento

O presente estudo foi realizado em um experimento com silício aplicado diretamente na solução nutritiva com repetição do ciclo, onde foi estudado quatro níveis de salinidade (Na1, Na2, Na3 e Na4) procurando simular determinadas características físico-químicas de águas subterrâneas salinizadas em interação a três doses de silício (Si1, Si2 e Si3), resultando na interação da salinidade com doses de silício na raiz.

4.3 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado na condução do experimento foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial de 3x4, com 3 doses de silício (ácido silícico) (0; 0,4; 2,0 mol/L), pois segundo Lemos Neto (2019) a dose de 0,4 mol/L de silício é a mais indicada para a produção hidropônica da alface, sendo que a partir da dose de 2,0 mol/L ocorre decréscimo de produção; e 4 doses de NaCl (Cloreto de sódio) (1,5,

2,5 e 3,5 e 4,5 dS/m⁻¹) com 3 repetições. O silício foi fornecido na forma de ácido silícico, que é uma fonte reativa de nanosílica, extremamente pura e dispersível em água (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química do silício.

Garantias	
SiO ₂ (%)	92
Si (%)	42,9
Densidade Aparente (g/l)	80 -140
Tamanho da partícula (um)	80-12
pH	6,0 – 7,5

Fonte: Sifol, 2022.

Os tratamentos foram formulados a partir da solução nutritiva de Furlani (1999) com o incremento de Silício e o tratamento testemunha composto pela solução nutritiva de Furlani (1999) sem adaptações. No total foram formulados 12 tratamentos, com 6 repetições cada, totalizando 72 unidades experimentais, mostrada na (figura 2).

Figura 2. Croqui do delineamento experimental.



Fonte: Amanda Ferreira da Silva (2021)

4.4 Produções de mudas

Na produção de mudas foram utilizadas sementes de alface BRS Leila que é uma cultivar híbrida de alface do tipo crespa, com tolerância ao florescimento precoce (pendoamento), característica que aumenta a sustentabilidade do cultivo dessa cultura em regiões tropicais. A cultivar apresenta ainda ampla adaptação aos diferentes sistemas de produção, podendo ser cultivada tanto em campo aberto como em cultivo protegido. Em função do formato cônico, ela também pode ser cultivada no sistema de produção hidropônico. As sementes foram semeadas em bandejas de polietileno com o uso de espuma fenólica para germinação e irrigadas com água destilada até germinarem. Em seguida foram

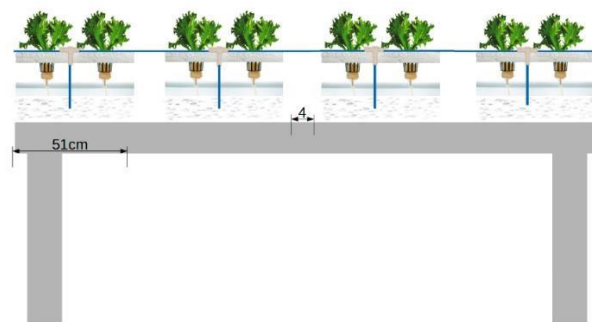
transferidas para os netpots e colocados no sistema com as soluções completas descritas nesse trabalho até o ponto de colheita.

4.5 Montagem do sistema DFT (*Deep film technique*) ou *Floating*

A montagem do sistema DFT ou '*Floating*', foi sob duas mesas de ferro, cada mesa com as seguintes dimensões 5,0m(C) x 1,60m(L) x 1,20m(A) ilustrada na (figura

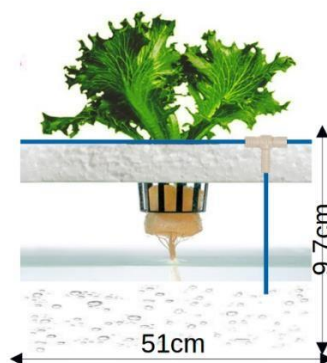
3). Usou-se como estrutura de “piscina flutuante” caixas brancas de plástico com dimensões 51cm(C), 30,3cm(L), 9,7cm(A) cada uma com capacidade para 9L, as caixas foram pintadas no seu exterior com tinta prata para evitar precipitação dos nutrientes pela luz. Sob as caixas colocou-se placas isopor com 1,5 cm de espessura, no isopor foi feito uma perfuração com diâmetro de aproximadamente 5 cm e neles foram colocados *netpots* apropriados para o cultivo nesse sistema que deram suporte as mudas de alface entre o isopor e a solução nutritiva mantendo as raízes imersas na solução nutritiva (de aproximadamente 5 a 7 cm) promovendo o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, mantendo-as úmidas e permitindo a absorção dos nutrientes, como mostra a (figura 4).

Figura 3. Mesa com sistema DFT montado.



Fonte: Amanda Ferreira da Silva (2021)

Figura 4. Sistema DFT (*Deep film technique*) ou *Floating*.



Fonte: Amanda Ferreira da Silva (2021)

4.6 Formulações das soluções nutritivas para o cultivo da alface

Para a formulação das soluções nutritivas dos experimentos teve como base e dose controle a solução nutritiva descrita por Furlani (1999), como mostra a (tabela 2).

Tabela 2. Fontes e doses da solução nutritiva de Furlani.

Adubo ou Sal	g/1000 L
Nitrato de cálcio	750,00
Nitrato de potássio	500,00
Fosfato monoamônico	150,00
Sulfato de magnésio	400,00
Ácido bórico	1,50
Sulfato de manganês	1,31
Sulfato de zinco	0,50
Sulfato de cobre	0,15
Molibdato de sódio	0,17
Cloreto férrico	13,00
EDTA- dissódico	17,00

Fonte: Furlani (1999)

4.7 Preparo das soluções nutritivas

4.7.1 Preparo das águas salinas simuladas

As águas salinas simuladas foram preparadas com a suplementação de NaCl em água de abastecimento subterrâneo até atingirem a condutividade elétrica pré-determinada para as salinidades S2, S3 e S4, já a solução controle com S1 foi preparada com água destilada e sua condutividade foi atingida apenas com os sais presentes na formulação de Furlani sem adição de NaCl, como mostra a (tabela 3).

Tabela 3. Condutividades elétricas (CE) das águas salinas simuladas e da solução controle.

Variável de salinidade	CE das soluções nutritivas	CE das soluções salinas simuladas	CE final
S1	1,5	0	1,5
S2	1,5	1,0	2,5
S3	1,5	2,0	3,5
S4	1,5	3,0	4,5

Fonte: Amanda Ferreira da Silva (2021)

4.7.2 Sistema de oxigenação

No sistema DFT as raízes das plantas permanecem submersas na solução nutritiva por todo o período de cultivo, por isso a oxigenação da solução merece atenção especial.

Para cada cultivo foram utilizadas mangueiras de plástico de 4mm interligadas entre si por conexões do tipo ‘‘T’’ de 4mm, ligadas ao compressor de ar modelo ACO-208 e um temporizador digital. O temporizador foi responsável pela regularização do tempo de oxigenação da água.

4.8 Controle da CE e pH

A condutividade elétrica e o pH da solução foram monitorados todos os dias, por meio de condutivímetro portátil e medidor de pH portátil, respectivamente. A condutividade elétrica na solução nutritiva foi repostada com a solução de água salina quando necessário para manter os valores determinados nesse trabalho. O controle do pH foi ajustado quando era necessário com hidróxido de sódio ou ácido clorídrico, visando manter a solução nutritiva com o pH na faixa de 5,5 a 6,5.

4.9 Variáveis relacionadas ao crescimento

As variáveis morfológicas analisadas foram: Massa fresca da planta (MFP) com a pesagem do material segundos depois de fazer a colheita, com unidade de medida em gramas (g) na balança de precisão; número de folhas total (NFT) e comercial por plantas (NFC), realizada através da contagem de todas as folhas com tamanho mínimo de 5 cm de comprimento e, posteriormente, somente as de valor comercial (ALENCAR et al., 2012); diâmetro do caule (DC), o qual foi medido a base do coleto, com o auxílio de um paquímetro digital; comprimento do caule (CC), obtido com o auxílio de uma fita métrica, pela medida da porção do caule presente na cabeça comercial das plantas colhidas (cm); circunferência da cabeça (Ccab), medida através de uma fita métrica (CARON et al., 2004). Também foi avaliada a massa fresca da parte aérea através de pesagem da planta (g), sem o sistema radicular.

4.10 Análises nutricionais

4.10.1 Concentração Na⁺, Ca⁺² e K⁺

Para a determinação do conteúdo de íons foi utilizado o extrato proveniente da análise de danos de membrana, levando o mesmo para leitura dos íons Na⁺, Ca⁺² e K⁺ em fotômetro de chamas, modelo BFC 150. Emergiu-se o cateter do fotômetro de chamas em um béquer contendo o extrato, dessa forma, ocorrendo a formação de uma névoa, que ao entrar no sistema nebulizador queimador produz os átomos de metais gasosos, estes entram em contato com o combustível utilizado no aparelho e as chamas resultantes refletem a concentração dos íons presentes na solução (figura 5). Os resultados obtidos foram comparados a curvas de calibração preparadas com NaCl, CaSO₄, KCl, onde todos foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$.

Figura 5. Quantificação de Na⁺, Ca²⁺ e K⁺



Fonte: Autoria própria (2023).

4.10.2 Silício

Foram transferidos 50 mg de amostra seca e moída para cadinho de níquel e incinerados a 450-500°C, durante 30 minutos. Deixou-se esfriar e adicionou-se às cinzas obtidas 1 ml de solução de hidróxido de sódio a 10%. Levou-se à mufla e deixou-se aquecer a 400-450°C, durante 20 minutos. Em seguida, o resíduo esfriado foi dissolvido com 10 ml de água destilada. Transferiu-se uma alíquota de 2 ml para balão Volumétrico de 100 ml e completou-se o volume com água destilada. Após a homogeneização, transferiram-se 5 ml para tubos de ensaio de plástico, adiciona 1 ml de solução de ácido sulfúrico 0,5 M, 1 ml de solução de molibdato de amônio 2% agitou-se suavemente e deixou em repouso por 5 minutos. Em seguida, foram adicionados pela ordem e seguidos de agitação, os seguintes reativos: 1 ml de solução de ácido tartárico 2%, 1 ml de solução de ácido sulfúrico 1,5 M e 1 ml de solução de ácido L-ascórbico 2%. Agita suavemente e espera 20 minutos, logo após realizou-se a leitura em espectrofotômetro a 660 nm.

4.11 Análises bioquímicas

4.11.1 Danos de membrana (DM%)

A porcentagem de danos na membrana se baseia em avaliar indiretamente os danos, nas membranas, causados pelo tratamento. As folhas e raízes foram lavadas 3x em água destilada deionizada, e foram retirados 30 discos das folhas e 10 segmentos de raízes laterais de plantas adultas. Em seguida o material foi transferido para tubos com tampa contendo 10ml de H₂Odd e deixados em repouso por no mínimo 6 horas a 25°C sob agitação ocasional, transferir o "extrato" para outros tubos e proceder leitura de condutividade a 25°C retornar o "extrato" para os tubos eu contém as amostras e realizou-se à fervura a 100°C por 60 minutos colocar para resfriar a temperatura ambiente

até retornar a 25°C e realizar nova leitura de condutividade, o resultado foi expresso em % de danos de membrana.

4.11.2 Açúcares solúveis totais (AST)

A determinação do conteúdo de carboidratos foi realizada segundo protocolo de Dubois et al. (1956). Para extração transfere-se 500 mg de massa fresca para tubos de ensaio de 15 mL com tampa rosqueável, em seguida é adicionado 55 mL de etanol a 80% e os tubos incubado a 100 °C por 1 hora. Passado esse tempo, o sobrenadante foi coletado e filtrado através de algodão. Para mensuração foi aplicado 0,5 mL do extrato em tubo de ensaio e adicionado 0,5 mL de fenol 5% e 2,5 mL de ácido sulfúrico. A determinação de AST foi realizada em espectrofotômetro a 490 nm e a concentração foi estimada através da curva padrão de glicose na unidade mg g^{-1} de massa fresca (MF).

4.11.3 Açúcares redutores (AR) e não redutores (ANR)

Para a análise de açúcares não redutores utilizou-se a metodologia de Passos (1996), a qual consiste no mesmo método de extração utilizado para açúcares solúveis totais, e para a quantificação a preparação do reagente antrona, segundo Morris (1948), pela qual 0,1 g de antrona desidratada será adicionada a 50 mL de ácido sulfúrico 90% (reação no escuro); e do reagente KOH 30% onde foi pesado 30 g de KOH e diluído em 100 mL de água destilada. Quando da quantificação, 0,9 mL da amostra diluída foi pipetada em tubos de ensaio e adicionado 0,1 mL de KOH 30% e incubados a 100 °C por 10 minutos. Após o resfriamento foi adicionado 2,5 mL do reagente antrona anteriormente preparado. Ao término desse procedimento realizou-se leitura em espectrofotômetro a 620 nm de absorbância. Por fim, a quantificação de AR será obtida através da subtração da quantidade de açúcares solúveis totais pela quantidade de açúcares não redutores.

4.11.4 Determinação dos teores de Clorofilas a, b e totais, Carotenóides Totais e Antocianinas

As concentrações de clorofilas, carotenóides e antocianinas foram obtidas pelos métodos de Lichtenthaler (1987) e Sims e Gamon (2002). Amostras de tecido foram maceradas na presença de nitrogênio líquido e então adicionado solução contendo acetona 85% (v/v) e 15% (v/v) de solução estoque de Tris 1% com pH 8 ajustado com HCl. As amostras foram centrifugadas a 10000 $\times g$ por 10min a 4°C. O sobrenadante coletado e realizado as seguintes leituras em espectrofotômetro: 663nm, 647nm, 470nm, 537nm.

4.11.5 Trocas gasosas

Foram determinadas com base na condutância estomática (g_s - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de assimilação de CO_2 (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração intercelular de CO_2 (C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$). Com os resultados obtidos por meio desses parâmetros, foram utilizados para determinar a eficiência instantânea do uso da água (WUE_i) ($A/E - [(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1})]$) sob densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de $1.200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, usando um analisador de gás infravermelho - IRGA (Infra-Red Gas Analyser, Lcpro), (Figura 6).

4.12 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias, posteriormente, foram submetidos às análises de variância pelo teste F com no mínimo 95% de confiança, quando significativo, as médias dos níveis de condutividade elétrica da água e do desdobramento da interação condutividade elétrica da água em Silício foram comparadas por regressões lineares e polinomiais com coeficiente de regressão ($> 60\%$). Para o efeito isolado dos níveis de silício na solução nutritiva utilizou-se o teste de comparação múltipla de Tukey ($p < 0,05$). Para realização das análises foram utilizadas o software estatístico R (TEAM, 2023).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises relacionadas ao crescimento

Sobre os aspectos morfológicos das plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico mensurou-se MFP, NTF, NFC, MFPA, DC, CC e Ccab (Figura 6). Observou-se que com o aumento das condutividades elétricas promoveu uma redução significativa nas variáveis analisadas quando comparadas com o tratamento controle $1,5 \text{ dSm}^{-1}$, exceto para as variáveis Ccab que se manteve próxima ao valor controle (Figura 6G). Segundo Neves et al. (2016), a variável Ccab, por exemplo, permite uma melhor qualidade visual para o quesito comercial, o que pode indicar para o presente trabalho, que mesmo em concentrações reduzidas de nutrientes ($1,5 \text{ dSm}^{-1}$) a cultura da alface é capaz de produzir de forma satisfatória em sistema hidropônico. Já em estudo com alfaces submetidas a diferentes doses de NaCl na água de irrigação perceberam redução na AP e NFT nas plantas em consonância ao aumento da salinidade, corroborando com os resultados aqui apresentados, (Silva et al.2017). Essa redução no estágio inicial nas plantas de alface também pode estar relacionada com o impacto da salinidade na diminuição no turgor das células, que afeta a divisão e expansão celular, ocasionando mudanças na anatomia, fisiologia e bioquímica das plantas (RODRIGUES et al., 2017; PELOSO et al., 2017).

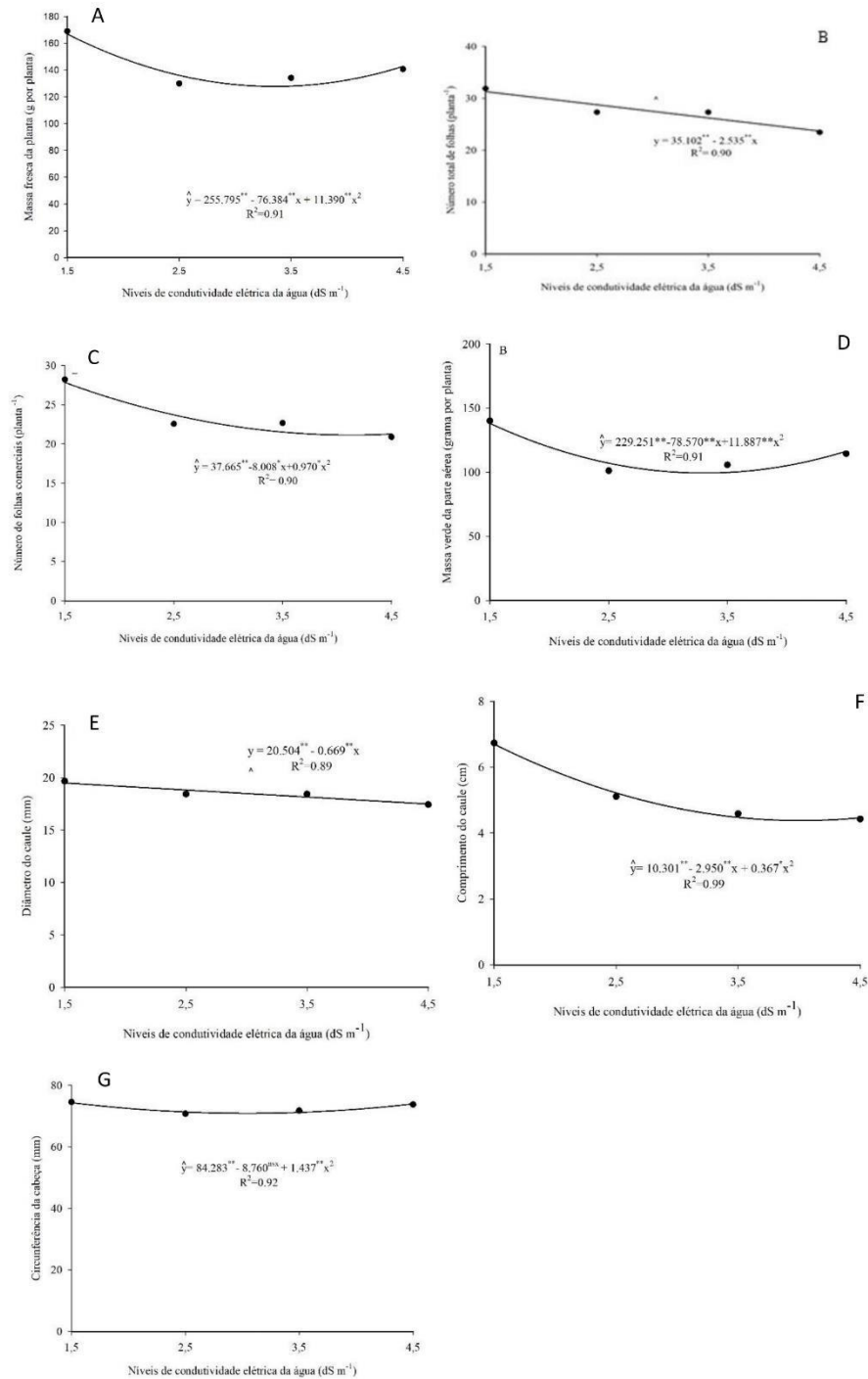


Figura 6. Características morfológicas das alfaces cultivadas em sistema hidropônico. (A) massa fresca da planta (g por planta); (B) número total de folhas (planta⁻¹); (C) número de folha comercial (planta⁻¹); (D) massa verde da parte aérea (g por plantas); (E) diâmetro do caule (mm); (F) comprimento do caule (cm); (G) circunferência da cabeça (cm), submetidas a quatro níveis de CEs.

Ao analisar o fator isolado silício na solução nutritiva, observou-se nas variáveis que foram supridas com silício, houve diferença significativa para as variáveis MFP, Dcab, MFPA e DC (Figura 7). É possível também observar que, o NFC (Figura 7B)

sofreu decréscimo quando associado a maior dose de silício. Entretanto, a resposta ao Si varia bastante entre cultivares de alface que provavelmente sofrem o efeito das condições ambientais durante o período de crescimento e desenvolvimento das plantas (Neves et al.2020). Lemos Neto et al. (2018), em estudo sobre a ação do Si na mitigação dos efeitos da salinidade em plantas de alface, não registraram efeito positivo do Si nas características de crescimento de alfaces cv. Lucy Brown submetidas a estresse salino, o que está de acordo com o presente trabalho (Figura 6,7).

Observando os dois fatores juntos (silício e salinidade) é possível verificar que não houve interação significativa entre ambos assim consolidando a hipótese de que, maiores doses de silício associadas a maiores doses de salinidade são deletérias para as plantas. Resultou-se que, sob condições de alta salinidade, associada a doses elevadas de silício causam efeitos deletérios no desenvolvimento das plantas de alface hidropônica tendo uma redução significativa no crescimento e na biomassa em comparação com o grupo de controle que recebeu concentrações moderadas de silício e sódio.

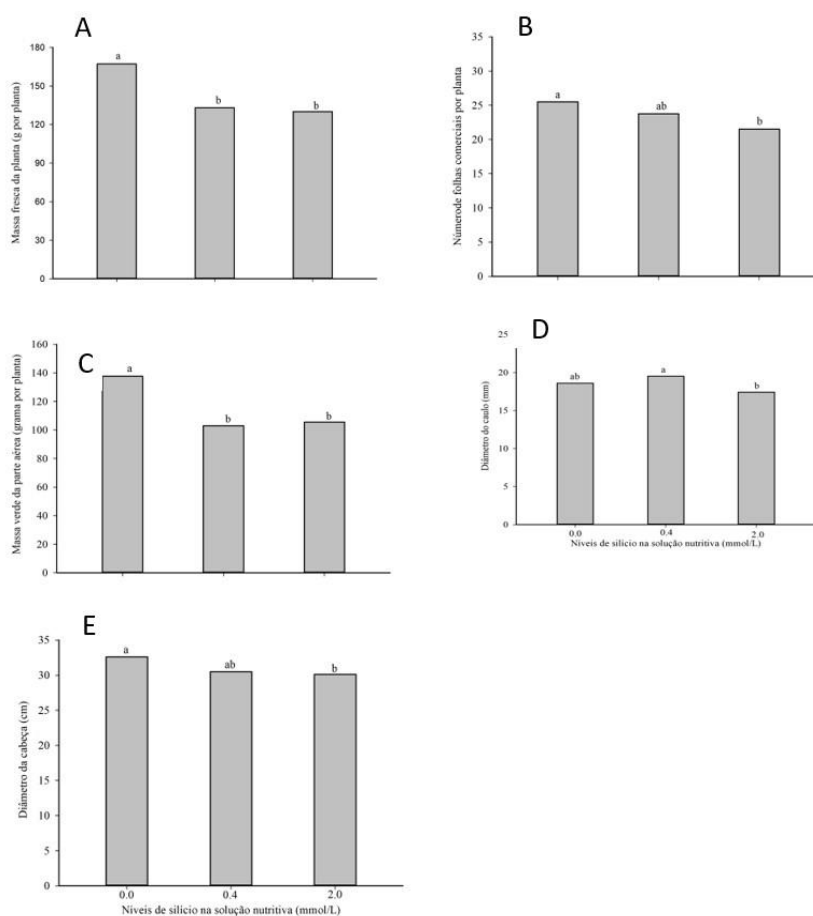


Figura 7. Características morfológicas das alfaces cultivadas em sistema hidropônico. (A) massa fresca da planta (g por planta); (B) número de folha comercial (g por planta); (C) massa verde da parte aérea (g por plantas); (D) diâmetro do caule (mm); (E) diâmetro da cabeça, submetidas a

três doses de silício. Média seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

5.2 Análises nutricional

No que diz respeito a absorção de nutrientes, foram mensuradas análises de Cálcio (Ca), Sódio (Na), Potássio (K) e Silício (Si), (Figura 8). Observou-se que com o aumento das condutividades elétricas houve uma interação negativa entre Ca e Na (Figura 8A), no qual temos o sódio um cátion (íon positivo) como o cálcio, e ambos competem pela absorção pelas raízes das plantas. Quando a concentração de sódio na solução nutritiva é excessivamente alta, ele pode competir com o cálcio pelas bombas de transporte iônico nas células da raiz, podendo resultar em uma absorção reduzida de cálcio (KOWALTOWSKI et al., 2019).

Para os valores de K consideramos que com o aumento das CEs tivemos uma pequena redução na absorção do nutriente nas condutividades 2,5 e 3,5 dSm^{-1} , porém no tratamento de maior concentração de sódio obtivemos um valor bem aproximado ao controle, isso se deu por meio da interação significativa entre o K e o Na (Figura 8B), onde a absorção de potássio (K) pelas plantas pode resistir a níveis elevados de condutividade elétrica (CE) em solos ou soluções nutritivas em certas circunstâncias devido a adaptações e mecanismos de controle que as plantas possuem para lidar com o estresse salino. Isso pode ser explicado da seguinte maneira: As plantas têm a capacidade de regular ativamente a absorção de íons, incluindo o potássio, através das raízes. As plantas têm sistemas de transporte seletivos que preferem a absorção de íons essenciais, como o potássio, em vez de íons não essenciais ou potencialmente prejudiciais, como o sódio. Portanto, mesmo em condições de alta CE, as plantas podem manter uma taxa eficiente de absorção de potássio enquanto limitam a absorção de sódio, mantendo níveis adequados de potássio nas células para várias funções vitais, como a regulação da pressão osmótica e a ativação de enzimas. Elas têm mecanismos para manter a concentração de potássio nas células mesmo em fase de condições de alta CE.

Na análise dos teores de sódio foi observado que, o silício promoveu uma redução nos seus valores de acordo com o aumento das CEs (Figura 8C). Embora o silício não afete diretamente os níveis de sódio nas plantas, ele pode influenciar a absorção e a tolerância ao sódio de maneira indireta, tornando as plantas mais capazes de lidar com ambientes salinos, ajudando a minimizar os efeitos negativos, incluindo o acúmulo de sódio nas plantas.

Quanto aos teores de silício na alface hidropônica, obteve-se uma interação significativa entre os fatores silício e salinidade (Figura 8D), ficando notório que o teor de si foi afetado com o aumento das condutividades elétricas, ou seja, tendo sido analisado que a planta se supriu de silício da dose com maior teor, corroborando com resultados mencionados anteriormente, onde a dose 2,0 mmol/L afetou positivamente outras variáveis do crescimento, assim resultando na ideia de que, valores a partir dessa dose pode ser benéfica a cultura.

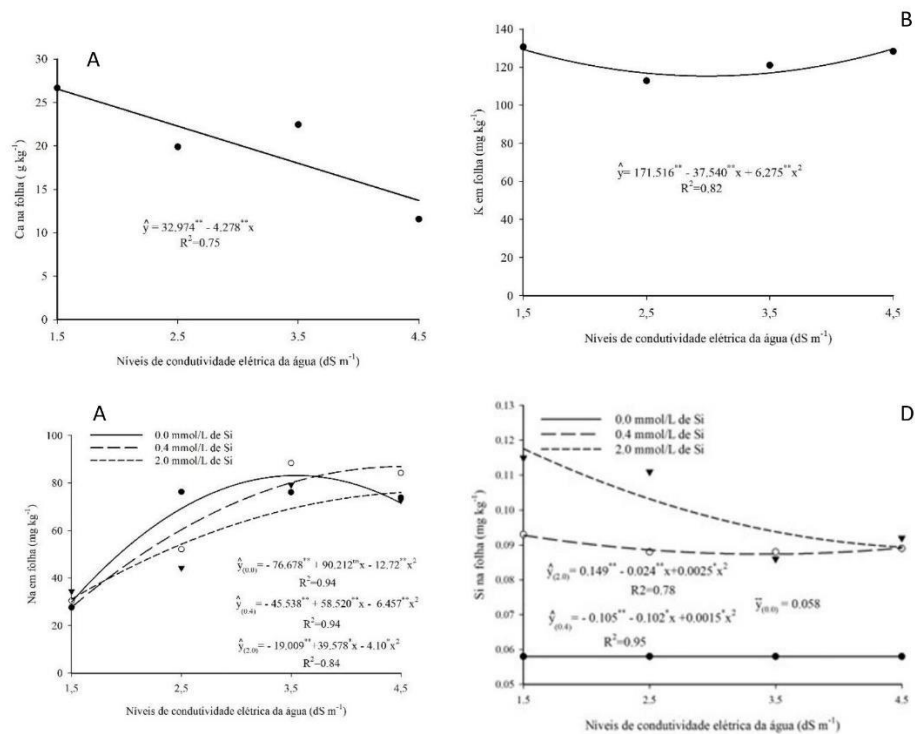


Figura 8. (A) Teores foliares de Ca em alfaces cultivadas em sistema hidropônico; (B) Teores foliares de K em alfaces cultivadas em sistema hidropônico; (C) Teores foliares de Na em alfaces cultivadas em sistema hidropônico; (D) Teores foliares de Si em alfaces cultivadas em sistema hidropônico.

5.3 Análises bioquímicas

Dentre as variáveis mensurou-se danos de membrana (DM), onde é possível observar quanto mais os níveis de salinidade vai aumentando, maior foi o dano à membrana, não havendo interação significativa para nenhum fator estudado, (Figura 9). A DM pode estar relacionados ao aumento dos teores de clorofila em células vegetais ou em células de organismos que realizam a fotossíntese (Figura 13), mas esse aumento não é uma causa direta dos danos de membrana. Pelo contrário, o aumento nos teores de clorofila pode ser uma resposta compensatória à ocorrência de danos de membrana. Quando as células vegetais ou fotossintéticas sofrem danos de membrana devido a fatores

como estresse ambiental, como alta intensidade de luz, altos níveis de salinidade, exposição a poluentes ou lesões físicas, elas podem aumentar a produção de clorofila como uma resposta adaptativa. Aumentar os teores de clorofila pode ser uma maneira de as células tentarem compensar os danos nas membranas e manter a fotossíntese em andamento. A clorofila desempenha um papel crucial na absorção de luz solar para a fotossíntese, e seu aumento pode ajudar a capturar mais luz e, assim, gerar mais energia para reparar as membranas danificadas e sustentar o metabolismo celular (TAIZ & ZEIGER,2013).

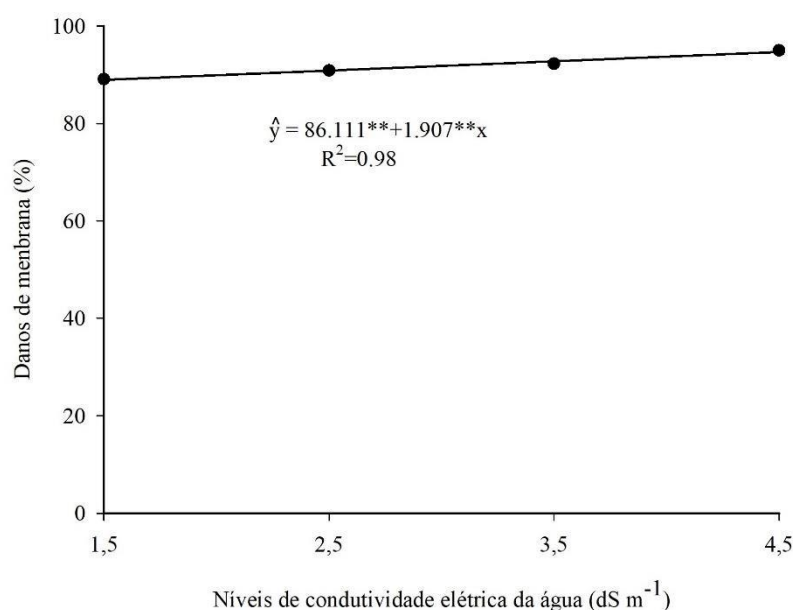


Figura 9. Danos da membrana em alface cultivada em sistema hidropônico em diferentes níveis de salinidade.

Avaliou-se, análises de trocas gasosas onde considerou-se as leituras que foram realizadas aos 30 dias após o transplante com base na condutância estomática (g_s), transpiração (E), taxa de assimilação de CO_2 (A) e concentração intercelular de CO_2 (C_i). Com os resultados obtidos por meio desses parâmetros, foi utilizado para determinar a eficiência instantânea do uso da água (EUA).

Para as variáveis g_s , E e A , houve uma interação significativa para os fatores silício e salinidade (Figura 10), por meio de uma interferência na assimilação de CO_2 onde ele é incorporado nas moléculas estimulando a abertura dos estômatos permitindo a entrada desse gás, que é necessário para a fotossíntese. Por outro lado, observamos que condutância estomática, transpiração e a taxa de assimilação de CO_2 , foram drasticamente afetadas pela dose 2,0 mmol/L interferindo na assimilação fotossintética, assim como foi

visto nas variáveis de crescimento, corroborando novamente com a hipótese de que, doses elevadas de silício com maiores CEs resultam em efeitos deletérios nas plantas.

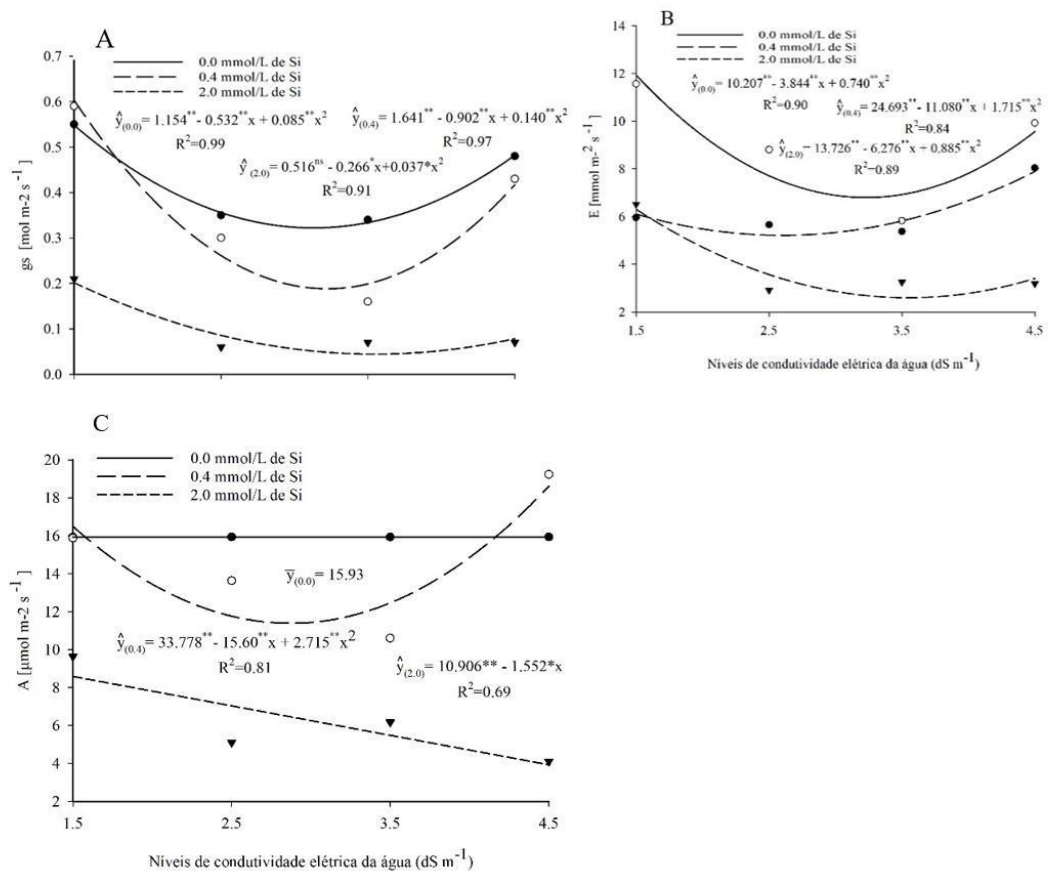


Figura 10. (A) Condutância estomática (gs); (B) Transpiração (E) e (C) Taxa de assimilação de CO₂ (A) em alface cultivada em sistema hidropônico com solução nutritiva de diferentes salinidades e de silício, aos 30 dias após o transplantio (DAT).

Novamente é observado uma redução na concentração intercelular de CO₂ (C_i) no tratamento 2,0 mmol/L (Figura 10), onde está diretamente ligado com os fatores apresentados anteriormente, em que a C_i é influenciada por vários fatores, incluindo a concentração e a taxa de absorção de CO₂ na atmosfera e pelos estômatos associadas a taxa de uso pelas células vegetais e a taxa de produção de açúcares durante a fotossíntese. Em condições ideais, o C_i é mantido em níveis que otimizam a eficiência da fotossíntese, mas em condições adversas, como alta temperatura e baixa umidade, os estômatos podem ser fechados para evitar a perda excessiva de água, o que pode reduzir a concentração de C_i e, conseqüentemente, a taxa de fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2013). Desempenhando um papel fundamental na regulação da fotossíntese e, conseqüentemente, no crescimento e no desenvolvimento das plantas. Junto a todas essas correlações mencionadas, temos a eficiência do uso da água (EUA), que por sua vez obteve contribuição significativa no fator isolado silício (Figura 10C), melhorando a absorção e

eficiência no uso da água pelas plantas por meio do fortalecimento das paredes celulares das raízes, tornando-as mais rígidas e menos permeáveis ao fluxo de água, o que reduz a perda de água por transpiração excessiva e mantém uma absorção eficiente de água, corroborando também com o dado de crescimento da variável danos de membranas, mencionados anteriormente.

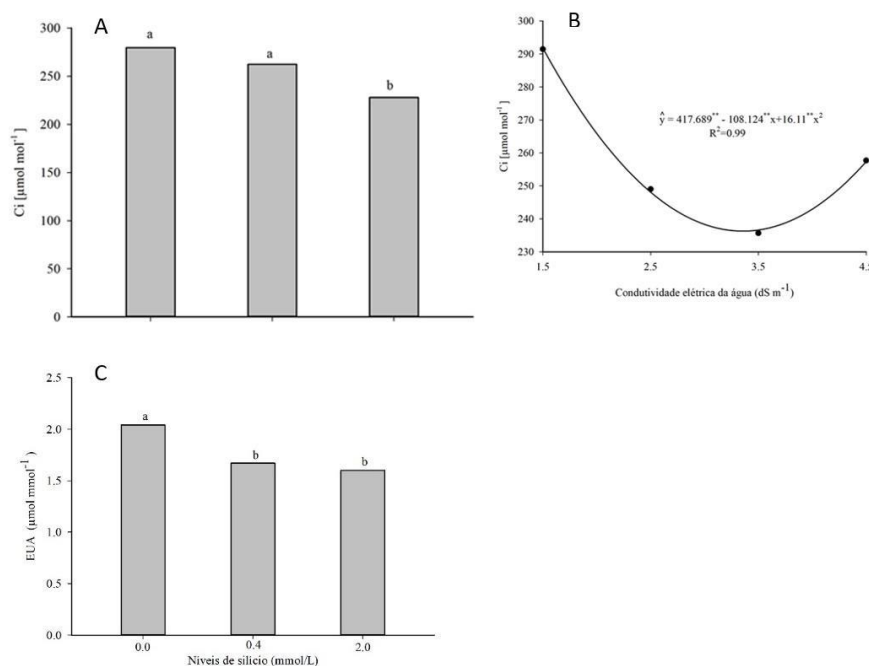


Figura 11. (A) e (B) Concentração intercelular de CO₂ (Ci) em alface cultivada em sistema hidropônico com solução nutritiva de diferentes doses de silício e salinidades, aos 30 dias após o transplantio (DAT). (C) Eficiência do uso da água (EUA) em alface cultivada em sistema hidropônico com solução nutritiva de diferentes níveis de silício, aos 30 dias após o transplantio (DAT). Média seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

Também foram avaliados açúcares não redutores (ANR), açúcares totais (AT) e açúcares redutores (AR), (Figura 11). Para as variáveis ANR e AR houve uma interação significativa entre os fatores silício e CEs (Figura 11 A,C), onde houve um acréscimo significativo comparados ao tratamento controle. Em contrapartida, isso significa dizer que a planta não está consumindo, e, portanto, observamos o aumento desses teores indicando a não mobilização desses açúcares em prol do crescimento, o que é confirmado pelo A (Taxa de assimilação de CO₂) analisado anteriormente, e pelos diversos parâmetros de crescimento que reduzem com o aumento da CE e do Si. Já para açúcares totais (AT), não houve interação significativa para os fatores estudados (Figura 11B), havendo um decréscimo, correlacionando novamente com o parâmetro A em que, quando as plantas estão expostas a condições estressantes, podem alocar recursos para a produção

de defesas contra o estresse, em vez de acumular açúcares, nesse caso, havendo uma redução nos níveis de açúcar total.

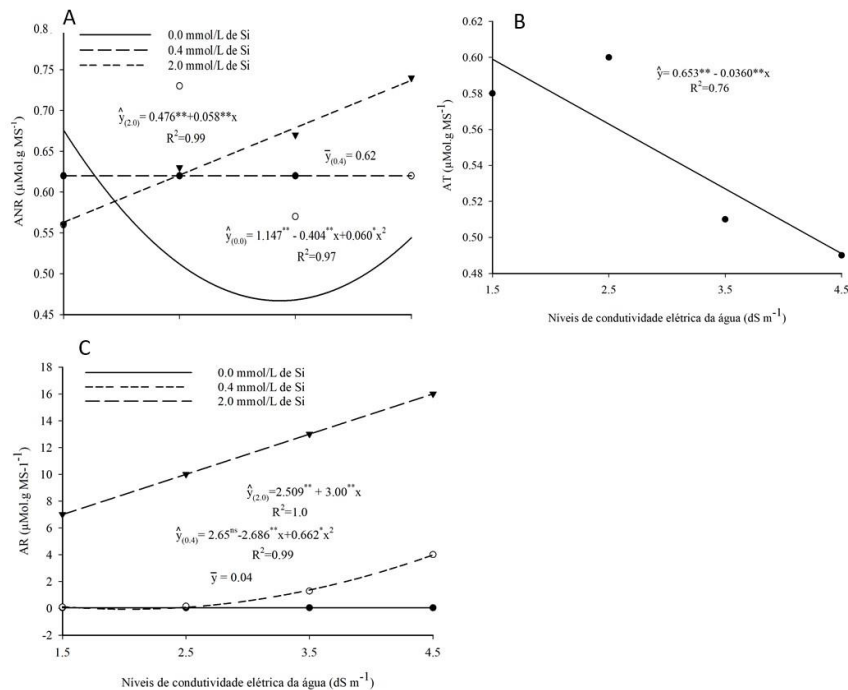


Figura 12. (A) Açúcar não redutor (ANR) em alface cultivada em sistema hidropônico em diferentes níveis de salinidade e silício; (B) Açúcar total (AT) em alface cultivada em sistema hidropônico com solução nutritiva com níveis de salinidade e (C) Açúcar redutor (AR), em alface cultivada em sistema hidropônico com solução nutritiva com níveis de salinidade e de silício.

No que se refere aos parâmetros fotossintéticos, analisamos: clorofila total (CT), clorofila a (CA), clorofila b (CB), antocianinas (A) e carotenoides (C), havendo interação significativa para os fatores silício e salinidade (Figura 12). O aumento dos teores de clorofila em plantas sob certas condições, como a presença dos fatores estudados, pode ser atribuído a adaptações específicas das plantas a essas condições adversas. Embora outras variáveis diminuíssem em resposta a esses fatores, a concentração de clorofila pode aumentar como parte da estratégia de sobrevivência da planta. Em resposta ao estresse, algumas plantas podem melhorar a absorção de luz. O aumento dos teores de clorofila pode aumentar a capacidade das plantas de capturar a luz disponível e converter essa energia em compostos orgânicos, como açúcares, enfatizando o resultado obtido para ANR e AR. Uma possível adaptação para compensar a redução na eficiência de outros processos metabólicos sob estresse, como nos dados de crescimento (TAIZ & ZEIGER, 2013).

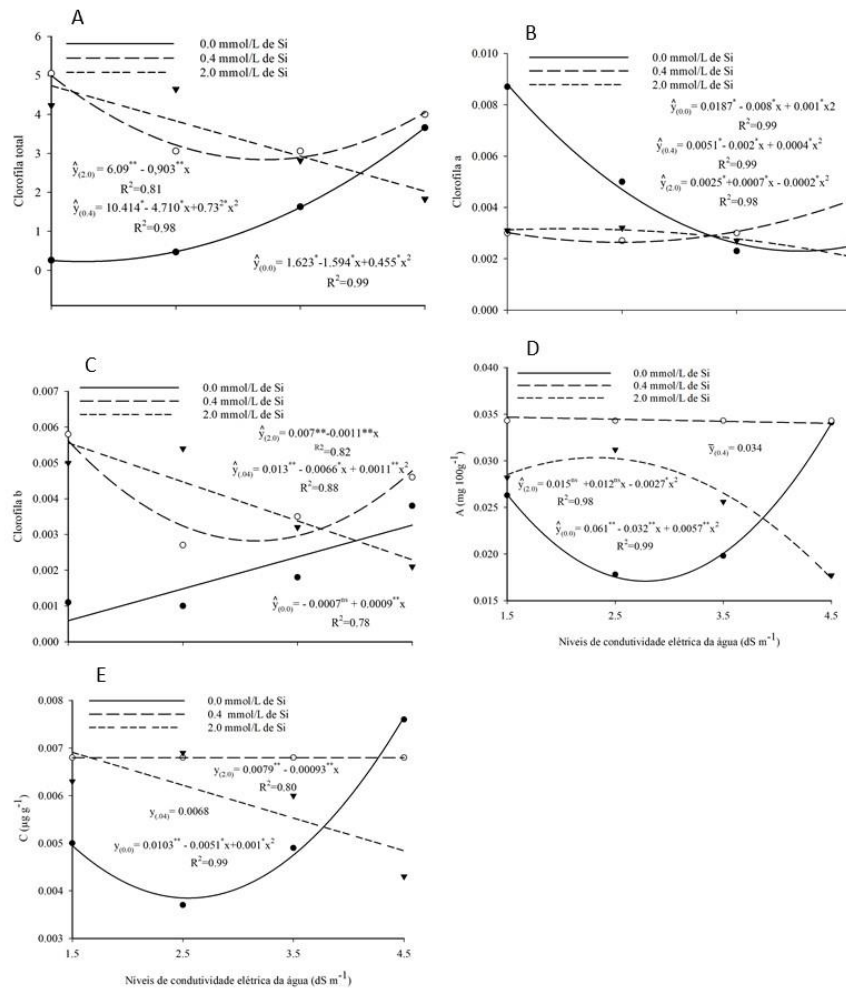


Figura 13. (A) Clorofila total (CT); (B) Clorofila a (CA); (C) Clorofila b (CB); (D) antocianinas (A) e (E) carotenoides (C) em alface cultivada em sistema hidropônico com solução nutritiva com níveis de salinidade e de silício.

6 CONCLUSÃO

1) O Si aplicado em solução nutritiva, em condições controle (CE da solução nutritiva) promove o desenvolvimento da planta de alface cultivada em hidroponia.

2) Na presença de Na^+ o efeito desse íon na fisiologia da planta é acentuado, inclusive em doses mais baixos de Si, sugerindo que existe uma interação negativa e deletéria entre esses dois íons nas plantas de alface cultivadas em hidroponia.

3) Os efeitos deletérios da combinação de Na^+ e Si^+ afetam o crescimento da planta, especialmente interferindo na atividade fotossintética, culminando na perda de eficiência metabólica de açúcares e pigmentos.

4) Mais estudos devem ser realizados para avaliar a possibilidade de utilização do Si como acentuador de performance de crescimento do alface em condições de cultivo em água não salinizada.

REFERÊNCIAS

- ABREU, I. M. O.; JUNQUEIRA, A. M. R.; PEIXOTO, J. R.; OLIVEIRA, A. R. Qualidade microbiológica e produtividade de alface sob adubação química e orgânica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30 p. 108-118, maio 2010.
- Alface BRS Leila - Portal Embrapa.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/buscade-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/4224/alface-brs-leila>>.
- ALVARENGA, M.A.R. et al. Crescimento, teor e acúmulo de macronutrientes em alface americana sob doses de N aplicados no solo e de níveis de cálcio aplicados via foliar. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.18, Supl, p.803-804, 2000.
- ALENCAR, T. A. S.; TAVARES, A. T.; CHAVES, P. P. N.; FERREIRA, T. A.; NASCIMENTO, I. R. do. Efeito de intervalos de aplicação de urina bovina na produção de alface em cultivo protegido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 7, n. 3, p. 53-67, 2012.
- ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas** Santa Maria: UFSM, 1999. 142p.
- ASHFAQUE, F; INAM, A; IQBAL, S; SAHAY, S. Response of silicon on metal accumulation, photosynthetic inhibition and oxidative stress in chromium-induced mustard (*Brassica juncea* L). **South African Journal of Botany**. v. 111, p 153-160, 2017
- BATES, L. S. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, v.39, n. 1, p.205-207, 1973.
- BATISTA, M. A. V.; VIEIRA, L. A.; SOUZA, J. P.; FREITAS, J. D. B.; BEZERRA NETO, F. Efeito de diferentes fontes de adubação sobre a produção de alface no município de Iguatu-Ce. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 8-11, 2012.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 611 p.
- BREMNER, J.M.; KEENEY, D.R. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by steam-distillation methods. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 1965.
- BOON, J.V.D. et al. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by nitrogen and chloride concentration, $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. **Journal of Horticultural Science**, Kent, v.65, n.3, p.309-321, 1990.
- CÂNDIDO, A. C. T. F; ROCHA, A. M. da; PEREIRA, H. de S; LOURINI, S. H; CAIONE, G. Silício na mitigação de estresse causado pela falta ou excesso de nitrogênio em alface. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**. v. 11, n. 6, p 23-32, 2020.

CANTUÁRIO, F. S.; LUZ, J. M. Q.; PEREIRA, A. I. A.; SALOMÃO, L. C.; REBOUÇAS, T. N. H. Podridão apical e escaldadura em frutos de pimentão submetidos a estresse hídrico e doses de silício. **Hortic. bras.** v. 32, n. 2, p 215–219, 2014.

CARON, B. O.; POMMER, S. F.; SCHIMIDT, D.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P. Crescimento da alface em diferentes substratos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 3, n. 2, p 97-104, 2004.

CASTELLANE, P.D. Nutrição mineral e qualidade de olerícolas folhosas. In: SÁ, M.E.; BUZZETI, S., (Coords.), **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas** São Paulo: Ícone, 1994. 437p.

DUBOIS M.; GILLES K. A.; HAMILTON J. K.; REBER P. A.; SMITH F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Anais Chem**, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: facts vs. concepts. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 1-15.

FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. Acúmulo de nitrato (NO_3^-) em alface: mito? **NOTESALQ**, Piracicaba, n.5, p.4-5, 1996.

FERREIRA, V.P. et al. Resposta de alface a diferentes épocas de aplicação de N. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.18, Suplemento, p.791-793, 2000.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças** Viçosa: UFV, 2000. 402p.

FREIRE, J. L. O.; SILVA, J. E. da.; LIMA, J. M. de.; ARRUDA, J. A. de.; RODRIGUES, C. R. Desempenho fitotécnico e teores clorofilianos de cultivares de alface crespas produzidas com fertilização à base de urina de vaca no Seridó paraibano. **Agropecuária Científica do Semiárido**, v. 12, n. 3, p. 258-267, 2017.

FURLANI, P.R., SILVEIRA, L.C.P., BOLONHEZI, D., FAQUIN, V. (1999). **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 52 p. (Boletim Técnico, n. 180).

FURLANI, P.R. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de Hidroponia NFT. **Boletim Técnico do Instituto Agrônômico de Campinas**, Campinas, n. 168, p. 30, 1998.

FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: Acesso em: 01 de dezembro 2021.

GRANGEIRO, L. C.; COSTA, K. R.; MEDEIROS, M. A.; SALVIANO, A. M.; NEGREIROS, M. Z.; BEZERRA NETO, F.; OLIVEIRA, S. L. Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivada em condições do Semiárido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 2, p. 190-194, 2006.

KÖPPEN W., 1900 : Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. **Geogr. Zeitschrift**, 6, 657–679.

KOWALTOWSKI, A. J. et al. Mitochondrial morphology regulates organellar Ca²⁺ uptake and changes cellular Ca²⁺ homeostasis. **The FASEB Journal**, v. 33, n. 12, p. 13176–13188, 5 set. 2019.

LEMOS NETO, H. de S; GUIMARÃES, M. de A; MESQUITA, R. O; SAMPAIO, I. M. G; HENDGES, A. R. A. de A; OLIVEIRA, A. B. de. Silicon potential as attenuator of salinity effects on growth and post-harvest quality of Lettuce. **Journal of Agricultural Science**. v. 10, n. 7, p 455-463, 2018

LEMOS NETO, H de S. **Silício na atenuação dos efeitos da salinidade em alface hidropônica**. Fortaleza, 2019. 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia) -Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará.

Lichtenthaler, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: **Methods in Enzymology** (eds S.P. Colowick, & N.O. Kaplan), v. 48, p. 350-382. Academic press, San Diego, 1987.

LOWRY, O. H; ROSEBROUGH, N. J; FARR, A. L; RANDALL, R. J. Protein measurement with the folin phenol reagent. **Department of Pharmacology**. p 265-275, 1951

LUZ, J. M. Q; GUIMARÃES, S. T. M. R; KONDORFER, G. H. Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Hortic. bras.** v. 24, n. 3, p 295–300, 2006.

MEDEIROS, D. C.; et al. Produção de mudas de alface com biofertilizantes e substratos. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 433-436, 2007.

MORRIS, D. L. Quantitative determination of carbohydrates with Drywood`santhrone reagent. **Science**, Washigton, v.107, n.3, p. 254-255, 1948.

NEVES, J. F; NODARI, I. D. E; SEABRA JÚNIOR, S; DIAS, L. D. E; SILVA, L. B. da; DALLACORT, R. Produção de cultivares de alface americana sob diferentes ambientes em condições tropicais. **Revista Agroambiente online**. v. 10, n. 2, p 130136, 2016.

NEVES, M. G; PINHEIRO, S. M.. G; CARDOSO, F. L; MACHADO, F. dos S. MAMBRI, A. P. de S; ANDRIOLO, J. L. Silence on growth and development of lettuce plants. **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n. 1, p 2330-2337, 2020.

NEVES, M. G. **Metabolismo bioquímico, produção e avaliação pós-colheita em plantas de alface submetidas à aplicação de silicato de cálcio foliar**. Belém, 2020. 57 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia.

PASSOS, L. P. Métodos analíticos e laboratoriais em fisiologia vegetal. Coronel Pacheco: **Embrapa Gado de Leite**, 223 p. 1996.

PEREIRA, N.N.C. et al. Adubação nitrogenada na cultura da alface fontes de N e inibidor de nitrificação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.6, p.647654, 1989.

QUEIROZ, C.G.S.; ALVES, J.D.; RENA, A.B. et al. Efeito do cloranfenicol, propanol, pH e temperatura sobre a atividade *in vivo* da redutase de nitrato em cafeeiros jovens. **Revista Brasileira de Botânica**, v.14, p.73-77, 1991.

RESENDE, G. M de; YURI, J. E; SOUZA, R. J de. Épocas de plantio e doses de silício no rendimento de alface tipo americana. **Hortic. bras.** v. 25, n. 3, p 455–459, 2007.

RIBEIRO, E. **Desempenho de diferentes substratos em cultivo de alface aquaponico e hidropônico**. Dourados, 2017. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Grande Dourados.

SANTANA, J. S; NASCIMENTO, C. H. S; SILVA, C. M. da; SILVA, W. A. da; DAMASCENA, J. F. Resposta de cultivares de alface sob diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Enciclopédia Biosfera. Centro Científico Conhecer**. v. 16, n. 29, p 1332-1346, 2019.

SANTOS, A. N.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; SILVA, D. J. R.; MONTENEGRO, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 961-969, 2010a.

SANTOS, C. F; LIMA, G. P. P; MORGADO, L. B. Tolerância e caracterização bioquímica em feijão-caupi submetido a estresse hídrico na pré-floração. **Naturalia**. v. 33, p 34-44, 2010.

SANTOS, M. C dos; JUNQUEIRA, A. M. R; SÁ, V. G. M de; ZANÚNCIO, J. C; BAUCH, M. A; SERRÃO, J. E. Efeito do silício em aspectos comportamentais e na história de vida de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**. v. 2, n. 1. p 76-88, 2012.

SANTOS, C. C; SILVA, M. S; CONCEIÇÃO, A. L. S; SILVA, N. D; BONSUCESO, J. S. Avaliação de desenvolvimento de alface tipo crespa em diferentes substratos sob ambiente protegido no recôncavo baiano. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer**, n. 15. p 281-290, 2012

SANTOS, I, da S. **Cultivo de alface em sistema hidropônico com solução nutritiva enriquecida com silício**. Campina Grande, 2021.129p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) -Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2021.

SILVA, A. L. da; NASCIMENTO, M. N. do; TANAN, T. T; OLIVEIRA, U. C. de; LIMA, J. do C. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção de alface crespa. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**. v. 14, n. 26, p 328-337, 2017.

Sims, D.A.; Gamon J.A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of environment**, v. 81, p. 337-354, 2002.

SOARES, H. R.; SILVA, E. F. F.; SILVA, G. F.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; SANTOS, A. N. Lettuce growth and water consumption in NFT hydroponic system using brackish water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 636-642, 2015.

SOARES, T. M.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F.; PAZ, V. P. S.; BARCELOSOLIVEIRA, J. L. **Uso de águas salobras em sistemas hidropônicos de cultivo** In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. D.; LACERDA, C. F. (Ed). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicações. Fortaleza: INCTSal, 2010, p. 337- 366.

SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F. ; DUARTE, S. N.; MELO, R. F. ; JORGE, C. de A.; BONFIM, E. M. **Produção de alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico. Irriga**, v. 12, p. 235-248, 2007.

SOUZA, E. G. F; RIBEIRO, R. M. P; PEREIRA, L. A. F; SILVA NETO, J. S de S; BARROS JÚNIOR, A. P; SILVEIRA, L. M. da. Produtividade de cultivares de alface em função da idade de colheita no semiárido Potiguar, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 13, n. 3, p 282-288, 2018.

SOUZA, J. Z. de; PRADO, R. de M; SILVA, S. L. de O; FARIAS, T. P; GARCIA NETO, J; SOUZA JÚNIOR, J. P. de. Silicon leaf fertilization promotes biofortification and encreases dry matter, ascorbate content, and decreases post-harvest leaf water loss of chard and kale. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 50, p 164172, 2018.

SOUZA JÚNIOR, J. P. de. **Silício como mitigador de deficiência e toxicidade de boro na cultura do algodão cultivado em solução nutritiva**. Jaboticabal, 2018. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do solo) -Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista.

SOUSA, G. G. de; RODRIGUES, V. dos S; SALES, J; R. da S; CAVALCANTE, F; SILVA, G. L. da; LEITE, K. N. Estresse salino e cobertura vegetal morta na cultura do milho. **Rev. Bras. Agric. Irr.** v. 12, n. 7, p 3018-3089, 2018

SOUZA, S. R. de; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S; SOUZA, S. R. de; SANTOS, L. A (ed). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2 ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Viçosa, MG, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre:Artemed, 2013. 954p.

TAIZ, L; ZAIGER, E; MOLLER, I. M; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artemed, 2017.

YEMM, E.W. & COCKING, E.C. The determination of amino acids with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, n 948, p. 209-213. 1955.